

PROSIDING XXVII DAN KONGRES X PERHAPI 2018

PENENTUAN VOLUME POTENSI LONGSORAN LERENG TAMBANG TERBUKA MENGGUNAKAN METODE KESETIMBANGAN BATAS 3 DIMENSI

(Determining Volume of Potential Failure of an Open Pit Slope Using 3D Limit Equilibrium Method)

By :

^{1)*} **Masagus Ahmad Azizi** ¹⁾ **Irfan Marwanza** ¹⁾ **Nadya A. Hartanti**

¹⁾ **Program Studi Teknik Pertambangan FTKE Universitas Trisakti**

Jalan Kyai Tapa No.1, Grogol, Jakarta Barat 11440, Indonesia.

Email : masagus.azizi@trisakti.ac.id

Phone : 08112315789

Abstrak

Salah satu dampak dari suatu risiko longsor lereng tambang terbuka adalah jatuhnya material longsor ke dalam tambang yang sedang melakukan operasi tambang yang berakibat dapat menimbulkan terjadinya fatalitas dan/atau cedera bagi pekerja, serta kerusakan properti perusahaan. Oleh sebab itu analisis kestabilan suatu lereng selain digunakan untuk menentukan nilai faktor keamanan (FK) dan probabilitas kelongsoran (PK) lereng, juga dapat memprediksi besaran volume longsor bila terjadi kegagalan dalam disain lereng. Penelitian ini menggunakan metode kesetimbangan batas (limit equilibrium method) 3 dimensi dalam penentuan volume longsor lereng dengan lokasi pada tambang terbuka batugamping di Rembang, Jawa Tengah. Ke depan diharapkan pendekatan ini dapat dimanfaatkan para praktisi untuk perencanaan mitigasi kelongsoran lereng.

Kata Kunci : Tambang terbuka, stabilitas lereng, metode kesetimbangan batas 3 dimensi, dampak longsor

Abstract

One of the consequences from a risk of open pit failure is the fallen of the failure material in a mine that is doing the mine operation that can cause fatality and/or injury to workers, and damage to company properties. Therefore, the slope stability analysis is not only used to determine the safety factor (SF) and failure probability (FP), but it can also predict the amount of the volume of failure if there is any fault in the slope design. This research used 3D limit equilibrium method in determining the volume of potential failure of an open pit limestone mine in Rembang, Central Java. In the future, it is hoped that this approach can be utilized by practitioners for mitigation of slope failure planning.

Keywords : Open pit, slope stability, 3D limit equilibrium method, consequence of failure

1. PENDAHULUAN

Resiko longsor dapat dikuantifikasi dengan mengalikan probabilitas kelongsoran dan konsekuensi. Manajemen resiko perlu dilakukan untuk meyakinkan potensi

resiko suatu operasi penambangan dapat terkontrol dan terukur. Penelitian-penelitian yang berkaitan dengan hal ini dalam M.A. Azizi dkk (2011, 2013, 2014); R.K. Wattimena dkk (2012, 2013); S. Kramadibrata dkk (2012, 2013); H.A. Ardhi dkk (2017), dan R.A. Abdullah dkk (2018). Volume longsoran merupakan salah satu konsekuensi yang ada di lingkup tambang terbuka. Dengan demikian akan lebih baik jika volume suatu potensi longsoran dapat diestimasi agar dapat diketahui seberapa besar resiko dari potensi longsoran tersebut.

Analisis kestabilan lereng dengan metode kesetimbangan batas membutuhkan asumsi bidang longsor dalam menghitung FK, khususnya jika pendekatannya adalah tipe longsoran busur. Dalam analisis 2 dimensi (2D) metode pencarian bidang longsor yang sering digunakan adalah *Grid Search*. *Grid Search* banyak dipakai karena prinsip kerjanya yang sederhana dan mudah dipahami.

Analisis kestabilan lereng secara 3 dimensi (3D) sekarang semakin terasa dibutuhkan tetapi masih jarang diaplikasikan. Hartanti (2018) menyatakan bahwa analisis secara 2D tidak dapat dijadikan sebagai patokan utama dalam menilai kestabilan suatu lereng. Selain itu, dengan menganalisis secara 3D volume potensi longsoran juga dapat diperkirakan. Untuk itu, dalam penelitian ini analisis dilakukan secara 3D untuk mendapatkan lokasi potensi longsoran dan estimasi volume yang representatif.

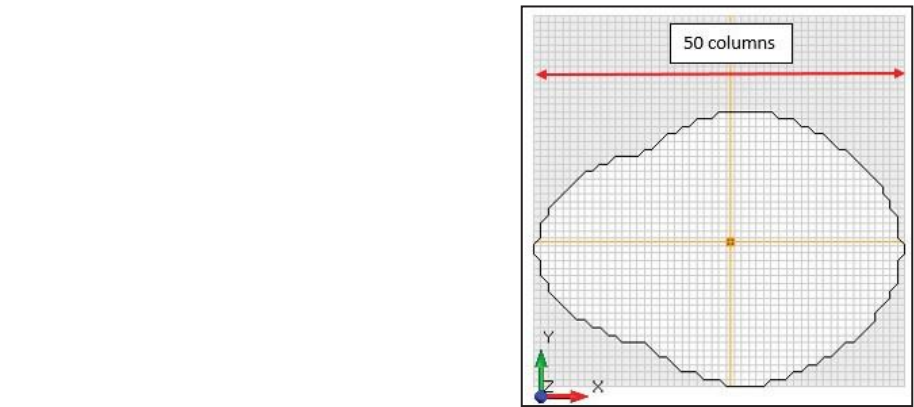
2. METODE KESETIMBANGAN BATAS 3 DIMENSI

Prinsip kestabilan lereng yang dipakai dalam penelitian ini adalah prinsip pengembangan yang diajukan oleh Cheng dan Yip (2007). Untuk mendapatkan nilai faktor keamanan (FK), bidang luncur didefinisikan terlebih dahulu secara 3 dimensi dan didikritisasi menjadi kolom-kolom vertikal. FK kemudian dihitung berdasarkan arah longsoran (sliding direction, a_i) tertentu pada arah x, y, dan z. Jika ketiga nilai tersebut belum sama FK dihitung kembali dengan a_i baru. Ketika FK telah diperoleh secara otomatis tiap kolom tersebut kemudian dihitung volumenya dan dikumulatifkan terhadap seluruh kolom pada massa gelincir tersebut untuk penentuan estimasi volume potensi longsoran. Untuk informasi yang lebih lanjut terkait detail pembagian gaya-gaya yang bekerja pada suatu kolom dan rumus perhitungan FK dapat dilihat dalam Cheng dan Yip (2007).

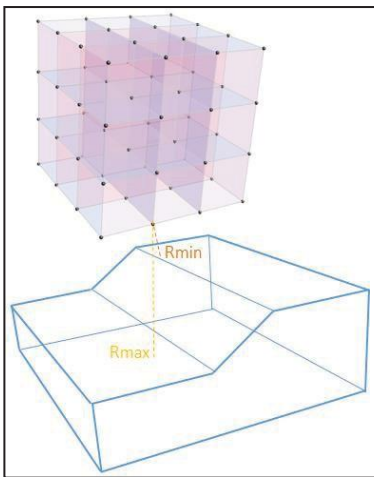
3. METODOLOGI

Penentuan FK dan volume longsoran dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Slide3* (lisensi resmi dari Rocscience). Metode yang dipakai yaitu metode Bishop dengan metode pencarian bidang longsor *Grid Search*. Prinsip *Grid Search* yaitu membuat pusat gelincir dalam bentuk titik yang letak dan kerapatannya diatur berdasarkan *grid box* sehingga dari setiap titik akan dihitung nilai FK dan titik satu dengan yang lain memiliki nilai FK yang berbeda-beda. Titik dengan FK paling rendah akan dijadikan sebagai hasil final simulasi. Analisis 3D dilakukan pada keseluruhan pit dalam kondisi kering dengan memvariasikan jumlah kolom maks dalam sumbu x atau y (*Max Columns in x or y*), jumlah radii per poin (*number of radii per point*), dan banyak titik dalam *grid box*. *Max Columns in x or y* adalah jumlah kolom maksimum suatu massa longsoran pada sumbu x atau y. *Number of radii per point* yang dimaksud disini adalah jumlah bidang longsor yang dibuat dan dihitung FK-nya dalam area yang masih dapat ditolerir dan masuk akal (*Rmin*

sampai R_{max}) untuk membuat bidang longsor untuk setiap titik dalam *grid box* (lihat Gambar 2). R_{min} dan R_{max} ditentukan secara otomatis berdasarkan lokasi titik dan geometri lereng. Titik dalam *grid box* merepresentasikan pusat gelincir. Litologi (berdasarkan klasifikasi yang ada di perusahaan tersebut) dalam penelitian ini terdiri dari 2 yaitu batugamping *High Grade* (HG) dan *Low Grade* (LG). Model geologi dibuat berdasarkan lokasi dan posisi tiap litologi setiap lubang bor.



Gambar 1. Deskripsi *Max Columns in x or y 50* (www.rocscience.com)



Gambar 2. Batasan Area Dalam Pembuatan Bidang Longsor (www.rocscience.com)

4. DATA

Data lubang bor serta data sifat fisik dan mekanik material yang digunakan dalam penelitian ini diadopsi dari Prakoso (2018) dan Amala (2018). Lokasi lubang bor dan kedalaman litologi tiap lubang bor dapat dilihat dalam Tabel 1 yang terdiri dari ID bor, koordinat bor, dan kedalaman tiap litologi. Tabel 2 merupakan parameter masukan material properties tiap litologi yang terdiri dari data berat jenis, kohesi, sudut gesek dalam (ϕ), dan kuat tarik material. Karena dalam analisis ini menggunakan *Grid Search* untuk mencari bidang longsor dengan FK minimum maka *grid box* perlu didefinisikan dengan ukuran tertentu. Detail mengenai posisi

grid box, ukuran *grid box*, banyak titik yang digunakan pada tiap sumbu, dan jarak antartitik pada tiap sumbu tersedia pada Tabel 3.

Tabel 1. Lokasi Kedalaman Litologi Pada Lubang Bor (Prakoso, 2018; Amala, 2018)

Titik Bor	Absis	Ordinat	Elevasi	Kedalaman (m)		
				LG (atas)	HG	LG (bawah)
DH04	557997	9238904	291	0-18.3	18.3-38.2	38.2-48
DH06	557932	9238833	300	0-8.8	8.8-48.9	48.9-87.9
DH07	558015	9238805	297	0-27.6	27.6-42.9	42.9-53.4
DH08	558087.5	9238804.9	289.7	0-0.28	0.28-60.9	60.9-68.4
DH09	557895.5	9238604.9	243.3	0-1	1-14.35	14.35-34

Tabel 2. Karakteristik Batuan (Prakoso, 2018; Amala, 2018)

Litologi	Berat jenis (kN/m3)	Kohesi (kPa)	Phi (°)	Kuat Tarik (kPa)
HG	20.43	250	40.7	2550
LG	19.79	230	40.1	2250

Tabel 3. Ukuran Grid Box dan Banyak Titik Yang Dipakai

Koordinat	x	y	z	Banyak Titik	Jarak antar titik (m) di sumbu-		
					x	y	z
min corner	557760	9238480	290	10x10x5	48.89	48.89	50
max corner	558200	9238920	490	20x20x10	23.16	23.16	22.22
delta	440	440	200	30x30x15	15.17	15.17	14.29

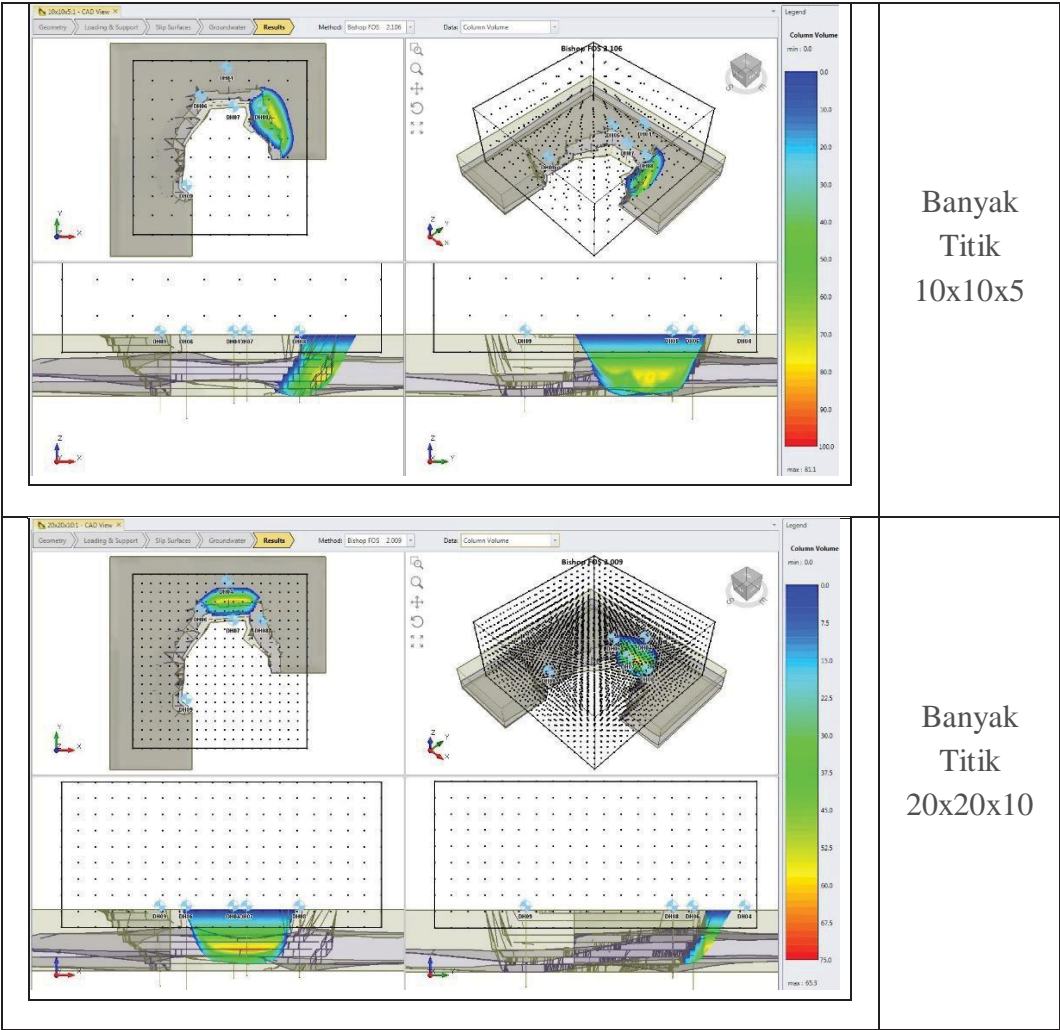
5. HASIL & DISKUSI

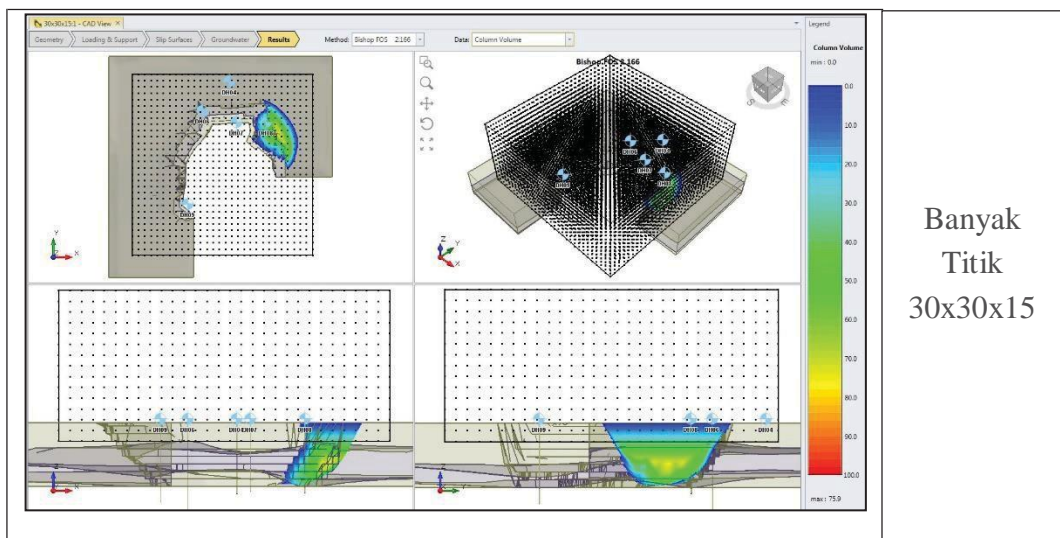
Hasil analisis menunjukkan lokasi dengan FK paling rendah di timur laut dan utara pit. Hal ini disebabkan adanya perbedaan kerapatan titik. Dalam analisis 3D, secara logis jika ternyata lokasi *global minimum* berada di lokasi A dan pada lokasi tersebut titik-titik disana tidak banyak atau bahkan sedikit maka sistem dapat saja menyimpulkan lokasi *global minimum* di lokasi lain. Dengan demikian kerapatan titik menjadi hal yang sensitif untuk analisis kestabilan lereng 3D, terutama jika area tersebut memiliki variasi geologi yang kecil.

Berdasarkan lokasi *global minimum* tiap simulasi secara 3D, dapat diketahui bahwa lokasi *global minimum* sebenarnya berada di utara pit karena nilai FK yang lebih rendah, dengan rata-rata estimasi volume potensi longsor sebesar 190.000 m³. Volume potensi longsor tiap simulasi berbeda-beda dikarenakan penentuan volume bergantung pada lokasi titik dalam *grid box*, jumlah kolom maks di sumbu x atau y, jumlah radii per poin, dan banyak titik yang dibuat dalam *grid box*. Dengan demikian dalam memperkirakan besar volume potensi suatu longsor sangat perlu dilakukan simulasi dengan variabel-variabel yang bervariasi sehingga dapat diketahui *range* besarnya.

Masalah waktu komputasi dalam analisis 3D sangat menjadi perhatian dalam penelitian ini. Hal ini dikarenakan *Grid Search* bergantung pada banyaknya titik yang di-*assign*. Jika titik yang di pakai semakin banyak maka komputasinya pun akan menjadi lebih lama. Yang akan menjadi masalah di kemudian hari adalah jika dilakukan analisis kestabilan lereng 3D dengan *Grid Search* pada area yang luas. Area yang luas membutuhkan *grid box* yang besar pula sehingga jika ingin hasilnya

akurat (mendapatkan hasil di lokasi *global minimum*) maka titik yang diperlukan harus sangat rapat. Albataineh (2006) menyatakan bahwa pengotomisasian teknik pencarian dapat menjadi pekerjaan yang tidak praktis jika teknik klasik digunakan. Teknik optimasi yang canggih menunjukkan potensi yang menjanjikan untuk pengembangan lebih lanjut dan pengaplikasian di masa depan dalam masalah stabilitas lereng dan rekayasa geoteknik (Albataineh, 2006). Dengan demikian, analisis 3D kedepannya lebih dianjurkan menggunakan metode pencarian bidang longsor dengan teknik optimasi.





Gambar 3. Hasil Analisis 3D Max Columns in x or y 150 Number of Radii per Point 10

Tabel 4. Prediksi Volume Longsoran Berdasarkan 3D Grid Search

Jumlah Kolom Maks dalam X or Y	Jumlah radii per poin	Banyak titik	rk	LOKASI	Volume (m ³)	Berat (kN)	Waktu (menit)
50	10	10x10x5	2.15	TL	179813	3624370	1.11
		20x20x10	2.11	TL	282903	5701680	2.79
		30x30x15	2.06	U	162000	3239480	5.77
	20	10x10x5	2.15	TL	179813	3624370	1.25
		20x20x10	2.04	U	166189	3324020	3.78
		30x30x15	2.03	U	165195	3304790	13.74
	30	10x10x5	2.15	TL	179813	3624370	1.42
		20x20x10	2.04	U	170481	3409280	7.28
		30x30x15	2.00	U	192759	3857490	24.97
	40	10x10x5	2.14	TL	258577	5209830	1.83
		20x20x10	2.04	U	166189	3324020	8.14
		30x30x15	2.13	TL	230271	4639730	56.08
60	50	10x10x5	2.15	TL	179813	3624370	1.96
		20x20x10	2.01	U	193695	3877380	13.78
		30x30x15	2.09	TL	231300	4656100	74.42
	10	10x10x5	2.15	TL	179482	3618350	2.06
		20x20x10	2.09	U	148023	2960280	3.59
		30x30x15	2.14	TL	179907	3626950	8.65
	20	10x10x5	2.15	TL	179482	3618350	2.25
		20x20x10	2.00	U	190470	3811850	5.93
		30x30x15	2.16	TL	169015	3405000	19.51
	30	10x10x5	2.15	TL	179482	3618350	2.48
		20x20x10	2.01	U	194364	3890270	7.23
		30x30x15	2.09	TL	247998	4995250	32.72
	40	10x10x5	2.16	TL	173000	3486620	2.08
		20x20x10	2.00	U	190470	3811850	10.26
		30x30x15	2.10	TL	255137	5137040	49.23
	50	10x10x5	2.17	TL	194720	3922270	9.00
		20x20x10	2.03	U	176015	3523090	19.75

Jumlah Kolom Maks dalam X or Y	Jumlah radii per poin	Banyak titik	r _R	LOKASI	Volume (m ³)	Berat (kN)	Waktu (menit)
70	10	30x30x15	2.14	TL	263876	5316990	101.35
		10x10x5	2.02	TL	133806	2696870	4.24
		20x20x10	2.01	U	171479	3431770	4.34
	20	30x30x15	2.15	TL	173864	3504560	14.39
		10x10x5	2.02	TL	133806	2696870	4.58
		20x20x10	2.00	U	192896	3860000	8.09
	30	30x30x15	2.11	TL	260548	5246540	25.06
		10x10x5	2.02	TL	133806	2696870	4.86
		20x20x10	2.00	U	180079	3603750	10.16
	40	30x30x15	2.18	TL	189323	3817720	40.48
		10x10x5	2.02	TL	133806	2696870	6.58
		20x20x10	2.00	U	192896	3860000	25.52
	50	30x30x15	2.17	TL	165592	3337370	77.28
		10x10x5	2.18	TL	175886	3544370	3.17
		20x20x10	2.02	U	184649	3694960	16.29
80	10	30x30x15	2.19	TL	181660	3659410	82.82
		10x10x5	2.08	TL	176192	3548750	3.66
		20x20x10	2.02	U	177106	3543560	4.13
	20	30x30x15	2.12	TL	254072	5119760	15.42
		10x10x5	2.08	TL	176192	3548750	4.08
		20x20x10	2.01	U	186013	3721970	9.35
	30	30x30x15	2.08	TL	311142	6267280	33.69
		10x10x5	2.04	TL	159910	3222500	5.97
		20x20x10	2.00	U	203631	4076440	12.79
	40	30x30x15	2.15	TL	165587	3338250	53.85
		10x10x5	2.15	TL	208799	4210930	7.29
		20x20x10	2.01	U	186013	3721970	38.97
	50	30x30x15	2.17	TL	189712	3821980	109.40
		10x10x5	2.16	TL	174219	3511110	8.23
		20x20x10	2.02	U	184915	3700860	56.48
90	10	30x30x15	2.30	TL	152120	3061630	121.86
		10x10x5	2.10	TL	153684	3095430	5.79
		20x20x10	1.99	U	196119	3925370	8.81
	20	30x30x15	2.12	TL	223482	4502100	36.69
		10x10x5	2.10	TL	153684	3095430	6.40
		20x20x10	2.01	U	186659	3734450	12.16
	30	30x30x15	2.10	TL	295754	5958540	37.29
		10x10x5	2.11	TL	289153	5824780	4.98
		20x20x10	2.01	U	191289	3828780	17.33
	40	30x30x15	2.12	TL	285497	5751080	96.53
		10x10x5	2.11	TL	282344	5688670	4.26
		20x20x10	2.01	U	186659	3734450	22.89
	50	30x30x15	2.11	TL	300628	6054450	135.48
		10x10x5	2.06	TL	162432	3274480	8.07
		20x20x10	2.00	U	191379	3830250	34.11
100	10	30x30x15	2.13	TL	257475	5188020	169.76
		10x10x5	2.16	TL	200157	4035640	5.60
		20x20x10	2.03	U	166255	3325190	7.60
	20	30x30x15	2.10	TL	263559	5307420	24.92
		10x10x5	2.16	TL	200157	4035640	6.52
		20x20x10	2.00	U	195031	3903910	16.01
		30x30x15	2.10	TL	258164	5198490	79.05

Jumlah Kolom Maks dalam X or Y	Jumlah radii per poin	Banyak titik	r _{rk}	LOKASI	Volume (m ³)	Berat (kN)	Waktu (menit)
110	30	10x10x5	2.12	TL	174591	3518070	8.35
		20x20x10	2.06	U	166498	3333480	22.41
		30x30x15	2.14	TL	263276	5306780	75.41
	40	10x10x5	2.16	TL	127910	2571530	10.11
		20x20x10	2.00	U	195031	3903910	30.45
		30x30x15	2.12	TL	289302	5826370	144.15
	50	10x10x5	2.11	TL	297872	5998960	14.09
		20x20x10	1.99	U	202202	4047600	38.78
		30x30x15	2.10	TL	289803	5839570	140.97
	10	10x10x5	2.15	TL	150417	3031740	7.06
		20x20x10	2.00	U	183751	3677030	15.52
		30x30x15	2.04	TL	215724	4340750	30.74
	20	10x10x5	2.15	TL	150417	3031740	8.11
		20x20x10	2.01	U	188258	3767370	19.85
		30x30x15	2.10	TL	292587	5893780	61.07
	30	10x10x5	2.08	TL	150558	3033660	11.89
		20x20x10	2.02	U	192998	3861950	25.42
		30x30x15	2.11	TL	292657	5894200	95.57
	40	10x10x5	2.17	TL	200805	4048630	9.59
		20x20x10	2.01	U	188258	3767370	35.37
		30x30x15	2.10	TL	297208	5986560	126.44
	50	10x10x5	2.14	TL	180211	3632680	11.62
		20x20x10	1.92	U	190965	3821650	55.19
		30x30x15	2.12	TL	232121	4674870	341.52
120	10	10x10x5	2.12	TL	166704	3359600	9.72
		20x20x10	2.00	U	197150	3945960	13.23
		30x30x15	2.10	TL	303008	6103240	32.86
	20	10x10x5	2.12	TL	166704	3359600	10.74
		20x20x10	2.00	U	190349	3810640	21.24
		30x30x15	2.11	TL	285894	5755880	66.41
	30	10x10x5	2.12	TL	167435	3374580	12.27
		20x20x10	2.08	U	149774	2996160	29.67
		30x30x15	2.14	TL	163793	3300890	146.74
	40	10x10x5	2.19	TL	174653	3520120	7.01
		20x20x10	2.00	U	190349	3810640	36.53
		30x30x15	2.13	TL	166184	3349460	149.05
	50	10x10x5	2.13	TL	155079	3126250	13.84
		20x20x10	2.00	U	187247	3748180	54.80
		30x30x15	2.12	TL	165772	3341170	194.69
130	10	10x10x5	2.13	TL	173832	3504070	12.39
		20x20x10	2.00	U	185623	3715740	33.57
		30x30x15	2.11	TL	285594	5755000	127.90
	20	10x10x5	2.10	TL	257680	5188300	8.63
		20x20x10	2.00	U	192929	3861750	29.99
		30x30x15	2.09	TL	264066	5319810	146.8
	30	10x10x5	2.13	TL	173832	3504070	20.49
		20x20x10	2.07	U	151659	3036090	67.02
		30x30x15	2.16	TL	220190	4437940	165.13
	40	10x10x5	2.12	TL	179832	3624830	15.88
		20x20x10	2.00	U	192929	3861750	50.20
		30x30x15	2.13	TL	172624	3478060	176.29
	50	10x10x5	2.14	TL	164806	3320930	16.54

Jumlah Kolom Maks dalam X or Y	Jumlah radii per poin	Banyak titik	rk	LOKASI	Volume (m ³)	Berat (kN)	Waktu (menit)
140	10	20x20x10	1.99	U	193556	3875140	58.49
		30x30x15	2.10	TL	293677	5916620	212.42
		10x10x5	2.14	TL	171389	3455570	10.60
		20x20x10	2.01	U	185606	3713960	14.79
		30x30x15	2.13	TL	151957	3063860	61.68
		10x10x5	2.14	TL	171389	3455570	12.11
	20	20x20x10	2.00	U	190860	3819400	30.22
		30x30x15	2.09	TL	318533	6416010	93.52
		10x10x5	2.14	TL	164812	3321990	13.26
	30	20x20x10	2.00	U	197689	3957250	76.09
		30x30x15	2.17	TL	209503	4222890	138.03
		10x10x5	2.14	TL	171389	3455570	14.44
	40	20x20x10	2.00	U	190860	3819400	54.44
		30x30x15	2.10	TL	300824	6060500	194.42
	50	10x10x5	2.15	TL	175502	3537030	20.28
150	10	20x20x10	2.02	U	181917	3639500	74.49
		30x30x15	2.12	TL	276689	5575590	266.84
		10x10x5	2.11	TL	297031	5983460	11.67
		20x20x10	2.01	U	191699	3836970	23.55
		30x30x15	2.17	TL	239949	4831670	57.05
		10x10x5	2.15	TL	169640	3420680	12.34
	20	20x20x10	2.00	U	187908	3760810	33.49
		30x30x15	2.15	TL	211478	4264250	119.32
		10x10x5	2.16	TL	171123	3448690	12.50
	30	20x20x10	2.06	U	174780	3498920	48.12
		30x30x15	2.11	TL	305170	6148400	184.74
		10x10x5	2.15	TL	169640	3420680	46.14
	40	20x20x10	2.00	U	187908	3760810	83.51
		30x30x15	2.16	TL	172915	3484720	298.10
	50	10x10x5	2.09	TL	293250	5909150	24.87
		20x20x10	2.01	U	195814	3920260	105.20
		30x30x15	2.17	TL	206034	4154070	322.33

Keterangan : B = barat; BL = barat laut; U = utara; TL = timur laut; T = timur

6. KESIMPULAN

Dengan menganalisis kestabilan lereng secara 3D estimasi volume potensi longsor dapat diketahui sehingga resiko dapat terukur. Untuk menentukan estimasi volume, FK suatu massa longsor perlu dihitung terlebih dahulu. Untuk mendapatkan FK, bidang longsor dibuat sehingga berbentuk seperti massa longsor dan didiskritisasi dalam kolom vertikal, kemudian dari kolom-kolom tersebut baru dapat dilakukan perhitungan FK. Penentuan estimasi volume potensi longsor dengan metode pencarian bidang longsor *Grid Search* perlu dilakukan dengan berbagai variasi variabel seperti jumlah kolom maks di sumbu x atau y, jumlah radii per poin, dan banyak titik dalam *grid box* karena besar volume sangat bergantung pada variabel-variabel tersebut. Estimasi volume potensi longsor yang didapat sebesar 190.000 m³ dengan lokasi potensi longsor di utara pit. Berdasarkan hasil analisis, analisis 3D LEM di masa depan dianjurkan untuk

memakai teknik optimasi dalam pencarian bidang longsor agar dapat lebih efisien dalam hal waktu komputasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung hingga penelitian ini dapat dirampungkan.

PUSTAKA

1. Albataineh, N. 2006. *Slope Stability Analysis Using 2D and 3D Methods*. Thesis. University of Akron.
2. Amala, S.A. 2018. *Analisis Kestabilan Lereng Tunggal 3D Berdasarkan Hasil Kekuatan Batuan Utuh dan Massa Batuan Batugamping PT OMYA Indonesia Tahunan, Rembang, Jawa Tengah*. Skripsi. Universitas Trisakti.
3. Bishop, A.W. 1955. *The Use the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes*, Geotechnique, Vol 5, No. 1, pg 7-17.
4. Cheng, Y.M. and Yip, C.J. 2007. Three-Dimensional Asymmetrical Slope Stability Analysis Extension of Bishop's, Janbu's, and Morgenstern-Price's Techniques, *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **133**(12), 1544–1555. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2007\)133:12\(1544\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2007)133:12(1544))
5. H.A. Ardhi, Masagus Ahmad Azizi, Irfan Marwana, Pancanita N. Hartami, Bani Nugroho. 2017. Perbandingan Analisis Stabilitas Lereng Metode Kestimbangan Batas Dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Pendekatan Probabilistik, Seminar Nasional Geomekanika 4 (SNG4) Padang, 179-185
6. Hartanti, N.A. 2018. *Analisis Kestabilan Lereng Batugamping di PT OMYA Indonesia, Rembang, Jawa Tengah Menggunakan Metode Kestimbangan Batas Pada Software Slide3*. Skripsi. Universitas Trisakti.
7. M.A. Azizi dan Rr Harminuke Handayani. 2011. Karakterisasi Parameter Masukan Untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (Studi Kasus Di PT. Tambang Batubara Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan), AVOER 2011, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
8. M.A. Azizi, S. Kramadibrata, R.K. Wattimena, I.D. Sidi. 2013. Characterization of the distribution of physical and mechanical properties of rocks at the Tutupan coal mine, South Kalimantan, Indonesia, EUROCK 2013 - Rock Mechanics for Resources, Energy & Enviroment, 213-216.
9. M.A. Azizi, S. Kramadibrata, R.K. Wattimena, I.D. Sidi. 2013. Probabilistic Analysis of Physical Models Slope Failure, *Procedia Earth and Planetary Science* 6, 411-418.
10. M.A. Azizi, S. Kramadibrata, R.K. Wattimena, I.D. Sidi. 2014. Risk Assessment Of Open Pit Slope Design At PT Adaro Indonesia, *Indonesian Mining Journal* 17 (3), 113-121.
11. Prakoso, G. 2018. *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Kestimbangan Batas Berdasarkan Hasil Pemetaan Geoteknik Sampel Batuan Inti Batugamping di PT OMYA Indonesia, Sale, Rembang, Jawa Tengah*. Skripsi. Universitas Trisakti.
12. R.A. Abdullah, Dedy Yusufianshah, Mohd Asmawisham Alel, Siti Nurafida Jusoh, Mohd Azril Hezmi, Nor Zurairahetty Mohd Yunusand, Ahmad Nazri Ali,

- Masagus Ahmad Azizi. 2018. Slope Stability Analysis Of Quarry Face at Karang Sambung District, Central Java, Indonesia, International Journal Of Civil Engineering & Technology (IJCIET) 9 (1), 857-864.
13. R.K. Wattimena, S. Kramadibrata, I.D. Sidi, I. Arif, M.A. Azizi. 2012. Probabilistic Analysis of Single Bench Using New Slope Stability Curves, ISRM Regional Symposium-7th Asian Rock Mechanics Symposium
 14. R.K. Wattimena, S. Kramadibrata, I.D. Sidi, M.A. Azizi. 2013. Developing coal pillar stability chart using logistic regression, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 58, 55-60
 15. Rocscience. 2018. Slide 2018 : Grid Search. www.rocscience.com. (diakses 1 Agustus 2018)
 16. Rocscience. 2018. Slide3 – 3D Limit Equilibrium Slope Stability Overview. www.rocscience.com (diakses 28 Maret 2018)
 17. S. Kramadibrata, R.K. Wattimena, I.D. Sidi, M.A. Azizi, Y. Adriansyah. 2012. Open Pit Mine Slope Stability and Uncertainty, ISRM Regional Symposium-7th Asian Rock Mechanics Symposium.
 18. S. Kramadibrata, R.K. Wattimena, M.A. Azizi, Y. Wicaksana, I.D. Sidi. 2013. Physical modeling and simulation of slope failure by means of centrifuge acceleration, ISRM International Symposium-EUROCK 2013.

